

各种星历在相位平滑伪距单点定位中的对比分析

高成发, 谢玉忠

(东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要 随着 IGS 星历产品的种类和精度不断提高, 精密单点定位对星历有了更多的选择。本文对 IGS 星历和广播星历进行了精度对比, 同时介绍了相位平滑伪距的原理, 着重通过对伪距单点定位和相位平滑伪距单点定位与广播星历、IGU 星历和 IGS 最终星历的组合对国内 IGS 跟踪站 (shao) 进行单点定位的分析, 证明了伪距平滑后的定位精度有了明显的提高, 使用 IGU 星历比广播星历定位精度也有所提高。

关键词 相位平滑伪距 星历 单点定位

中图分类号: P228.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-4097(2010)06-0003-04

1 引言

传统的 GPS 单点定位是指利用伪距及广播星历的卫星轨道参数和卫星钟差改正进行的定位。由于 C/A 码的测距精度仅为 3 m 左右 (P 码约为 30 cm), 观测噪声至少也有 30 cm, 广播星历的轨道精度为米级^[1], 卫星钟差的改正精度为几纳秒, 因此单点定位的坐标分量精度只能达到 5~10 m。而由于整周模糊度的存在, 单纯的载波相位观测量无法进行单点定位。载波相位平滑伪距利用伪距无整周模糊度的特点与载波相位观测量相结合进行单点定位, 平滑后的伪距精度约为 30~60 cm, IGS 最终精密星历的轨道精度可达 2.5 cm, 卫星钟差精度可达 75 ps。由于其实时性不能得到满足, IGU 星历被推出, 其预测部分的轨道精度可达 5 cm, 卫星钟差精度可达 5 ns, 因此如果采用 IGU, IGS 星历并且周跳修复和粗差剔除正确, 平差模型合理, 其定位精度会得到很大提高。基于此, 本文根据载波相位平滑伪距的特点, 给出了探测与修复周跳以及剔除粗差的方法和步骤, 编制了相应程序。

2 各种星历的比较

全球定位系统 (GPS) 是基于无线电导航的卫星定位系统, 卫星轨道是定位的前提条件, 轨道 (GPS 星历) 直接影响着导航定位的精度^[2]。目前, GPS 卫星星历的提供方式有广播星历、超快速星历 (IGU 星历)、快速星历 (IGR 星历) 和精密星历 (IGS 星历) 4 种类型。轨道精度由高到低分别为 IGS 星历、IGR 星历、IGU 星历和广播星历; 对

于实时性而言, 广播星历和 IGU 星历预推轨道可实时获取, 而 IGS 星历和 IGR 星历只能用于后处理^[2]。

GPS 广播星历是通过卫星发射的含有轨道信息的导航电文, 用户接收机接收到这些信号, 经过解码便可以获得所需要的卫星星历。目前广播星历轨道精度大约为 3 m。为了加强国际间 GPS 地学研究合作应用, 国际大地测量学协会 IAG (International association of geodesy) 于 1993 年成立了国际 GPS 地球动力学服务 (IGS) 组织, 并于 1994 年 1 月正式运作, 其主要任务是利用 GPS 空间对地观测技术研究地壳运动、监测海 (冰) 面变化、地球自转、极移以及大地坐标系维持等地球科学问题。目前, IGS 拥有分布在全球的 335 个 GPS 跟踪站和部分 GLONASS 跟踪站, 对 GPS 卫星进行连续跟踪观测, 其测量数据被发送到 IGS 数据分析与处理中心, 该中心统一解算 GPS 卫星星历, 并向全球用户提供 3 种星历类型: IGS 星历、IGR 星历和 IGU 星历。这三种星历都是用 SP3 格式。IGS 星历要在 12 d 之后才能获取; IGR 星历在 17 h 之后即能获取。2000 年 3 月 10 日开始, IGS 中央局推出了一种新的轨道产品 IGU (IGS UltraRapid product) 轨道。每个 IGU 星历文件轨道弧长 48 h, 前 24 h 是基于实测 GPS 数据的精密轨道, 后 24 h 则是预推轨道。目前 IGU 轨道每天发布 4 次, 分别在 UTC 时 3:00、9:00、15:00 和 21:00 发布, 用户只需在 3 小时之后即可获取^[2]。同时, 由于该轨道有 24 小时的预推轨道, 因此可作为实时使用, 目前 IGU 星历的应用成为研究的重点。表 1 IGS 产品质量指标^[3]。

Table 1 IGS Product Table

产品名称		精度	时延	更新时间	采样率
Broadcast	orbits	~ 100 cm	real time	—	daily
	Sat. clocks	~ 5 ns RMS ~ 2.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (predicted half)	orbits	~ 5 cm	real time	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. clocks	~ 3 ns RMS ~ 1.5 ns SDev			
Ultra-Rapid (observed half)	orbits	~ 3 cm	3—9 hours	at 03, 09, 15, 21 UTC	15 min
	Sat. clocks	~ 150 ps RMS ~ 50 ps SDev			5 min
Rapid	orbits	~ 2.5 cm	17—41 hours	at 17 UTC daily	15 min 5 min
	Sat. & Stn. clocks	~ 75 ps RMS ~ 25 ps SDev			
Final	orbits	~ 2.5 cm	12—18 days	every Thursday	15 min Sat.: 30s Stn.: 5 min
	Sat. & Stn. clocks	~ 75 ps RMS ~ 20 ps SDev			

3 相位平滑伪距的原理

Hatch^[4]于 1982 年提出了一种利用历元间载波相位差值对伪距平滑的方法,基本原理如下:

$$\bar{P} = \frac{1}{k}P_k + \frac{k-1}{k}(\bar{P}_{k-1} + \varphi_k - \varphi_{k-1}) \quad (1)$$

其中, \bar{P} 和 P_k 分别为历元 k 的伪距平滑值和观测值, φ_k 和 φ_{k-1} 分别表示历元 k 和 $(k-1)$ 的相位观测值。由于相位观测噪声远小于伪距观测噪声,故平滑后的伪距观测值精度大大提高。

4 数据的预处理

从 1 式可以看出相位平滑伪距值 \bar{P}_k 既包含伪距观测值 P_k 也包含相位观测值 φ_k , 由于相位观测值存在周跳问题, 因此数据处理必须进行周跳的探测与修复以及误差的剔除。

4.1 周跳的探测与修复^[5]

在利用载波相位进行单点定位时, 由于信号会受到各种干扰, 从而会使 GPS 接收机的多普勒记数暂时中止, 进而造成整周计数的部分缺失, 即产生周跳。因而及时地探测周跳的发生并进行正确的修复是定位连续进行的前提。由于在单点定位中不能采用双差的方法来探测, 因而, 在单点定位中大多采用双频 P 码组合观测值来探测、修复周跳。常用的组合观测值进行粗差、周跳的探测和修复的方法有: Melbourne-Wubbena 组合观测值法、Ionosphere-Free 组合观测值法、LG-PC 组合观测值法和 Geom-

etry-Free 组合观测值法。

Melbourne-Wubbena 组合观测值如下:

$$L_6(i) = \frac{1}{f_1 - f_2}(f_1 L_1(i) - f_2 L_2(i)) - \frac{1}{f_1 + f_2}(f_1 P_1(i) + f_2 P_2(i)) \quad (2)$$

式中: L_1, L_2 ——载波相位观测值, $L_1 = \lambda * \varphi_1$, $L_2 = \lambda * \varphi_2$;

f_1, f_2 —— L_1, L_2 载波的频率;

P_1, P_2 ——P 码伪距观测值。

由于这种观测值能够消除电离层延迟、对流层延迟、钟误差和几何距离误差的影响, 同时, 由于该组合观测值的波长较长(约 86 cm), 对探测并修复周跳和整周模糊度的求解非常有利。

4.2 电离层延迟的消除

利用双频接收机进行单点定位, 可以根据电离层对不同频率的电磁波折射率不同, 建立消除电离层影响的双频观测值组合模型。

$$\varphi_{m,n} = \frac{f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_1 - \frac{f_1 f_2}{f_1^2 - f_2^2} \varphi_2 \quad (3)$$

4.3 对流层延迟的消除

本文采用的对流层改正模型为 Saastamainen 模型, 映射函数采用 Niell 函数。

5 实验数据分析

为了分析相位平滑伪距对单点定位的效果, 以及各种星历参数对定位的影响, 计算中分别采用广播星历, IGS 精密星历和 IGS 精密星历, 利用最小二乘差

法进行静态解算, 其解算方案分为六种: 广播星历+原始伪距(方案一); 广播星历+平滑伪距(方案二); IGU 精密星历+原始伪距(方案三); IGU 精密星历+平滑伪距(方案四); IGS 精密星历+原始伪距(方案五); IGS 精密星历+平滑伪距(方案六)。

5.1 CA 码和 P2 码非平滑和平滑后的定位精度对比分析

本文的数据是采用 IGS 的上海站(shao) 2010 年 8 月 2 日的数据, 选用 CA、P2 码伪距进行相位平滑, 将 IGS 提供的 shao 的坐标(参考框架为 IT RF2005)作为基准值, 解算结果与基准值进行比较。本文采用逐个单历元进行结算, 结果如下图。

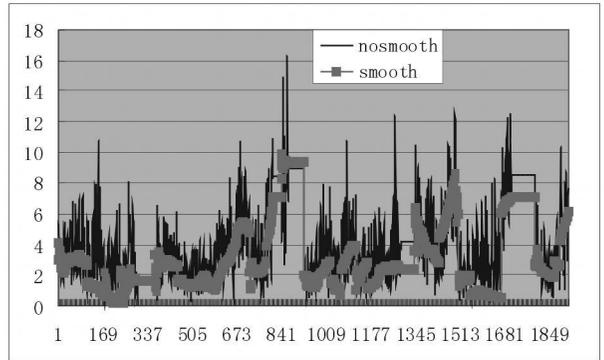


图 2 方案三和方案四 shao 站解算值与基准值之间的距离偏差

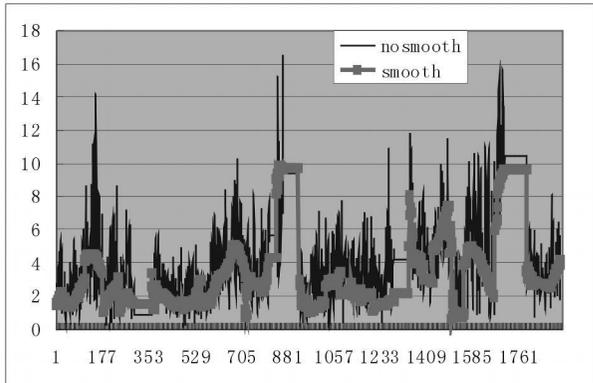


图 1 方案一和方案二 shao 站解算值与基准值之间的距离偏差

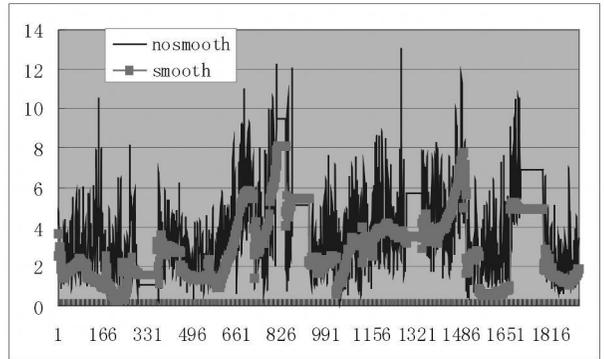


图 3 方案五和方案六 shao 站解算值与基准值之间的距离偏差

表 2 中误差对比表

中误差	非平滑				平滑			
	X	Y	Z	总偏移	X	Y	Z	总偏移
广播星历	2.07	2.65	3.79	5.07	1.46	1.80	3.50	4.20
Igu 星历	2.06	2.77	3.26	4.75	1.44	2.07	2.95	3.88
Igs 星历	2.33	2.72	2.58	4.41	1.68	1.92	2.21	3.38

从图 1、图 2 和图 3 中可以看出不论在精度上还是在稳定性上平滑后的数据都比没有平滑的数据有了很大提高, 同时由表 3 的数据可以得出广播星历, IGU 星历和 IGS 星历平滑和非平滑精度分别提高了 17%, 18%, 23%。分析主要原因是由于经过相位平滑伪距, 测量噪声同时得到了平滑, 而且双频相位平滑伪距的精度也有了提高。

5.2 各种星历的定位精度对比分析

从表 2 中可以得出采用广播星历, IGU 星历和 IGS 星历进行单点定位, 精度逐渐提高。非平滑的情况下, 采用 IGU 星历的结果比采用广播星历提高了 6%, 采用 IGS 星历提高了 13%; 平滑的情况下, 比采用 IGU 星历提高了 7%, 比采用 IGS 星历提高了 20%。由于广播星历和 IGU 星历可以实时获取, 因此可以考虑用 IGU 星历进行实时的单点定位。

6 总 结

由于相位平滑伪距不但平滑了噪声, 也使其精度有了很大提高, 这从实验的数据中可以得出明显的结论: 三种星历分别提高了 17%, 18%, 23%; 本人所编写的程序平滑伪距的方法是采用传统的 Hatch 滤波, 有些因素没有考虑, 比如说没有考虑卫星的高度角不同, 权也是不同的, 所以可以采用高度角定权法与相位平滑伪距相结合的方法进行单点定位。

采用三种星历, 精度逐步提高, 由于 IGU 星历的实时性可以考虑 IGU 星历进行实时的定位, 但是由于伪距本身上的精度比较低, 以及本人所编的程序上的不足, 结果并不是很理想, 因此可以考虑使用相位数据进行定位。从表 1 可以看出 IGU 星历的轨道精度很高, (下转第 8 页)

选取 7—8 个中心点较为合适。对于核函数中心点分布不同对拟合精度的影响, 需要进一步研究和探讨。

参考文献

- 1 潘正风, 杨正尧, 等. 数字测图原理与方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2008
- 2 陈克杰, 黄观文, 刘站科. 基于多面函数与 Shepard 插值的高程异常综合拟合法[J]. 工程勘察, 2010, (5)
- 3 吴灵芳. 几种 GPS 高程曲面拟合方法的比较与分析[J]. 山西建筑, 2010, 35(8)

- 4 刘新红, 岳东杰, 唐华. GPS 高程转换系统的研究及其应用[J]. 现代测绘, 2005, 28(1)
- 5 黄筱蓉, 周光文. 用多面函数法内插 GPS 点的高程异常[J]. 工程勘察, 1995(4)
- 6 李秀海, 韩冰. 基于多面函数模型的 GPS 高程拟合精度分析[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(1)
- 7 杨丹, 奚以成. 多面函数法在 GPS 高程拟合中的应用[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报, 2009, 11(1)
- 8 丁旭, 陈喜凤, 袁豹等. 基于 Cook 距离的 GPS 高程拟合点优选[J]. 科技创新导报, 2010, (20)

Function Model Based on multi-faceted Function of the Number of Nuclear Choose Accuracy of GPS Height

YUAN Bao, DING Xu

(Surveying and Mapping Science and Engineering of Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098)

Abstract GPS Height in some areas, the choice of different methods of fitting models and GPS Height accuracy will have a huge impact. Based on the multi-faceted function fitting the model number of different kernel functions chosen to center accuracy of GPS Height study, the practical calculation of conclusion, the number of the selected kernel function center is different on the accuracy of GPS Height the impact of large multi-faceted functions in the model fitting using GPS altitude should be considered the center of the nuclear function of the number of choice.

Key words multidimensional function; elevation fitting; kernel function center; accuracy analysis

(上接第 5 页)

而卫星钟差的精度不是很高, 所以对卫星钟差的实时预测会成为实时精密单点定位的重点。

参考文献

- 1 张成军, 杨力, 陈军. 提高 GPS 载波相位平滑伪距定位精度的算法研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(8)
- 2 张耀文, 贾小林, 杨志强. IGS 超快速星历预推 GPS 卫星

轨道精度分析[J]. 测绘工程, 2006, 15(6)

- 3 Hatch R. The synergism of GPS code and carrier measurements[A]. Proceedings of the 3rd International Geodetic Symposium on Satellite Doppler Positioning [C]. 1982
- 4 高旭光. GPS 动态精密单点定位的应用研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2009

The Comparative Analysis of Point Positioning Using Carrier Phase Smoothed Pseudorange with Various Ephemeris

GAO Cheng fa, XIE Yu zhong

(Transportation College of Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract As the IGS product range and ephemeris accuracy increased, which make ephemeris used in precise point positioning have more choice. This paper analysis of accuracy of IGS ephemeris and broadcast ephemeris, introduced the principle of carrier phase smoothed pseudorange. Focused on analysing of accuracy of point positioning using carrier phase smoothed pseudorange and nosmoothed pseudorange with various ephemeris, this paper show that the positioning accuracy with smoothed pseudorange have improved, and the precision of it by using IGS ephemeris also increased than broadcast ephemeris.

Key words carrier phase smoothed pseudorange; ephemeris; point positioning